

第II部門

柔軟性を有する植生開水路流れの抵抗特性について

京都大学
京都大学
京都大学

学生員 ○岡本隆明
フェロー 榎津家久
学生員 片山愛来

1. はじめに

実河川における水生植生群は流れの抵抗に大きな影響を与えるとともに水域環境を構成する重要な要素の一つであるから、開水路植生流れの水利特性を解明することは河川環境管理や水防災学において重要なトピックである。特に sweep や ejection に代表される乱流構造により、浮遊土砂の拡散輸送が促進されるため、既往研究で盛んに行われた時間平均場の解明に加えて、組織構造や渦特性などの解明が求められる。

表-1 実験条件

Type	Φ	l_f (cm)	h (cm)	h_d (cm)	H/h	U_m (cm/s)	U_r (cm/s)	$A_{r,z}$	R_z	Pr	Classification of plant motion
R	-	-	-	-	-	10.0	2.4	-	15000	0.08	Rigid(R)
						12.0	2.9	-	18000	0.10	
						15.0	3.5	-	22500	0.12	
						17.0	3.9	-	25500	0.14	
						20.0	4.5	-	30000	0.16	
F5	-	15.0	5.0	4.9	3.0	10.0	2.4	91.2	15000	0.08	Swaying(S)
						12.0	2.8	63.3	18000	0.10	
						15.0	3.4	40.5	22500	0.12	
						17.0	3.9	31.6	25500	0.14	
						20.0	4.4	22.8	30000	0.16	
F7	0.001	21.0	7.0	3.0	3.0	10.0	2.3	33.2	24000	0.07	Monami(M)
						12.0	2.7	23.1	25200	0.08	
						15.0	3.3	14.8	31500	0.10	
						17.0	3.6	11.5	35700	0.12	
						20.0	4.0	8.3	42000	0.14	
F9	-	27.0	9.0	5.4	3.0	10.0	2.1	15.6	27000	0.06	Swaying(S)
						12.0	2.5	10.9	32400	0.07	
						15.0	2.9	7.0	40500	0.09	
						17.0	3.1	5.4	45900	0.10	
						20.0	3.5	3.9	54000	0.12	
F10.5	-	31.5	10.5	6.4	3.0	10.0	2.0	9.6	31500	0.06	Swaying(S)
						12.0	2.3	6.8	37800	0.07	
						15.0	2.7	4.4	47250	0.09	
						17.0	2.9	3.4	53550	0.10	
						20.0	3.0	2.5	63000	0.11	
						25.0	3.2	1.6	78750	0.14	Prone(P)

2. 実験手法および水理条件

図-1 に本研究の実験装置図を示す。実験に用いた水路は全長 10m、幅 40cm、高さ 50cm の可変勾配型直線水路である。水路底面には図のように 8m の全区間にわたって剛体植生(長さ 50mm、幅 8mm、厚さ 1mm)と柔軟植生(長さ 50, 70, 90, 105mm、幅 8mm、厚さ 0.1mm)モデルを配置した。本研究では柔軟植生の直立高さを h 、折れ曲がり高さを h_d とする。

乱流計測には PIV 法を用いた。図-1 に示すように上方から LLS を照射して、水路側方から 2 台の高速度カメラでデジタル撮影した。LLS の照射位置は non-wake 領域とした。カメラに 40Hz の外部トリガーを与えて、500Hz のフレームレートで 2 枚の連続画像から PIV 計測し、計測時間は 60 秒間であった。植生の折れ曲がり高さ h_d は PTV 計測から求めた¹⁾。

表-1 に実験条件を示す。本研究ではかぶり水深比 H/h 、断面平均流速 U_m 、植生密度 Φ は一定として、植生長さ h を変化させ、その影響を検討した。植生密度 Φ は次式で定義される。

$$\Phi = nAb/V_0 \quad (1)$$

ここで、 n は体積 V_0 における植生の数で、 A は流れに垂直方向の植生要素の投影面積 (frontal area)、 b は植生要素の幅で $b=8\text{mm}$ である。

3. 結果と考察

図-2 に柔軟植生と剛体植生について時間平均主流速鉛直分布 U を比較したものである。流速値は断面流速 U_m で無次元化している。剛体植生では植生内部 ($y/h < 1.0$) では植生要素の抗力によって主流速が低減され

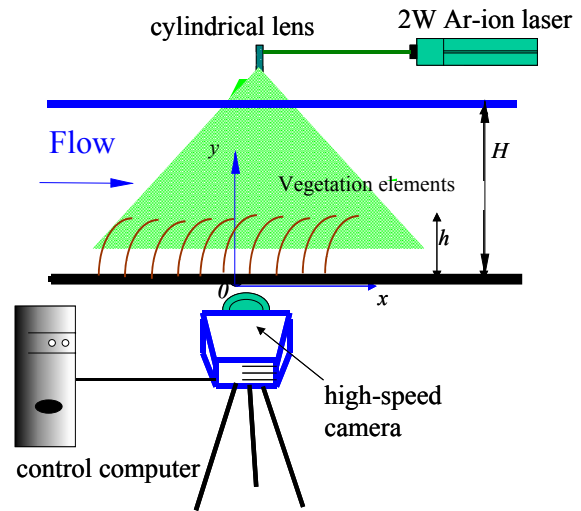


図-1 実験装置図

るために植生先端部 ($y/h=1.0$) において主流速分布の変曲点が見れる。また柔軟植生では主流速分布の変曲点位置が下方に移動しているが、これは流体力を受けて植生が折れ曲がり高さが減少したためである。図中には植生の折れ曲がり高さ \bar{h}_d を併示した。

植生流れの多くの既往研究で次式の粗面対数則²⁾が適用できることが確認されている²⁾。

$$\langle U \rangle / \langle U_* \rangle = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{y-d}{y_0} \right) \quad (2)$$

ここで d および y_0 はそれぞれ原点移動量および排除厚さである。 κ はカルマン定数で本研究では開水路流れの標準値 0.412 を用いた²⁾。原点移動量 d は次式で計算される³⁾。

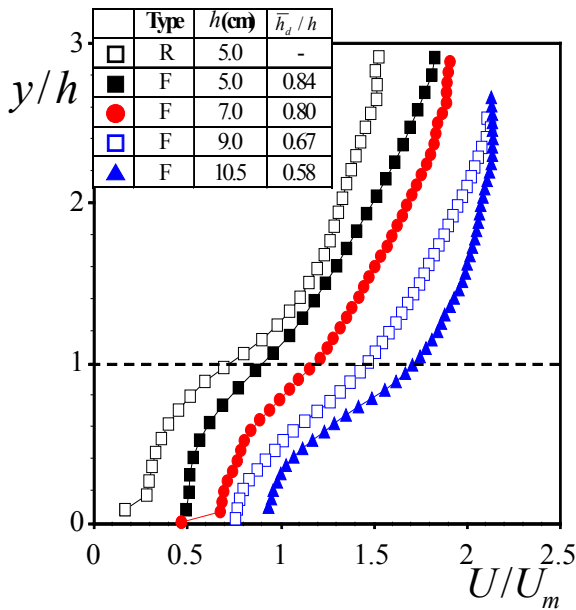


図-2 主流速分布の比較

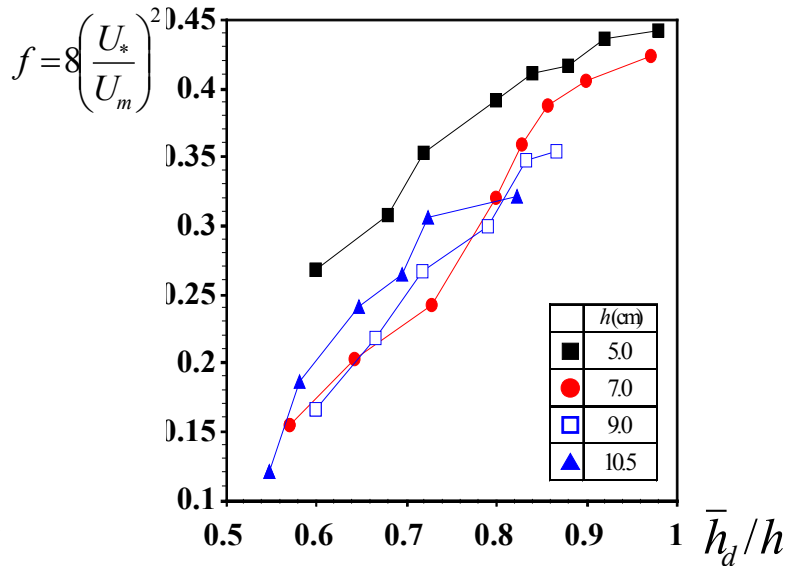


図-4 流れ抵抗係数

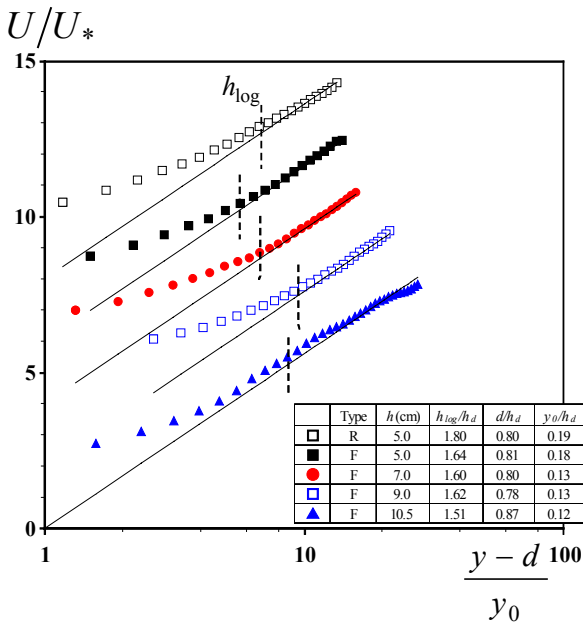


図-3 対数則分布との比較

$$d = \int_0^h \left(y \frac{\partial \bar{u}v}{\partial y} \right) dy / \int_0^h \left(\frac{\partial \bar{u}v}{\partial y} \right) dy \quad (3)$$

図-3 は植生層外部における U の鉛直分布をプロットしたものである。植生長さや剛性に関係なくいずれのケースも式(2)に一致し、本実験値においても対数則の成立が確認できた。図中には d/\bar{h}_d の値を示した。 $d/\bar{h}_d = 0.8$ 程度ではほぼ一定で、植生の折れ曲がり高さ \bar{h}_d が柔軟植生流れを支配する重要なパラメーターであると考えられる。

図-4 に柔軟植生ケースの摩擦抵抗係数

$f = 8(U_*/U_m)^2$ と植生の時間平均折れ曲がり高さ \bar{h}_d の関係を示す。 \bar{h}_d が増加すると、流速抵抗が大きくなる傾向がみられる。これは Jarvela (2002)⁴⁾の結果と一致している。図-4 から植生の折れ曲がり高さ \bar{h}_d が流れ抵抗を支配していることが確認できた。

4. おわりに

本研究は柔軟植生流れを対象に PIV 計測を行い、柔軟が流れ抵抗に与える影響について考察した。植生長さを変化させて時間平均流特性を比較検討し、柔軟植生流れでは植生が折れ曲がるために流れ抵抗が減少することがわかった。

参考文献

- 1) 岡本隆明・瀬津家久・山上路生(2009)：柔軟性を有する植生開水路流れの組織乱流構造と藻波現象に関する実験的研究，土木学会論文集 B, Vol.65, No.3, pp.190-202.
- 2) Nezu, I., and Sanjou, M. (2008). Turbulence structure and coherent motion in vegetated canopy open-channel flows, *J. of Hydro-environment Res., IAHR*, Vol.2, pp.62-90.
- 3) Nepf, H., and Vivoni, E. R. (2000). Flow structure in depth-limited vegetated flow, *J. of Geophys. Res.* Vol.105, pp.28547-28557.
- 4) Jarvela, J. (2002). Flow resistance of flexible and stiff vegetation: flume study with natural plants, *J. of Hydrology*. Vol.269. pp. 44-54